



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 197 44 300 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
C 22 C 1/08
B 22 F 3/11
B 32 B 5/18

21 Aktenzeichen: 197 44 300.1
22 Anmeldetag: 7. 10. 97
43 Offenlegungstag: 16. 4. 98

DE 197 44 300 A 1

30 Unionspriorität:
1772/96 07. 10. 96 AT

71 Anmelder:
Mepura Metallpulver Ges.m.b.H., Ranshofen, AT

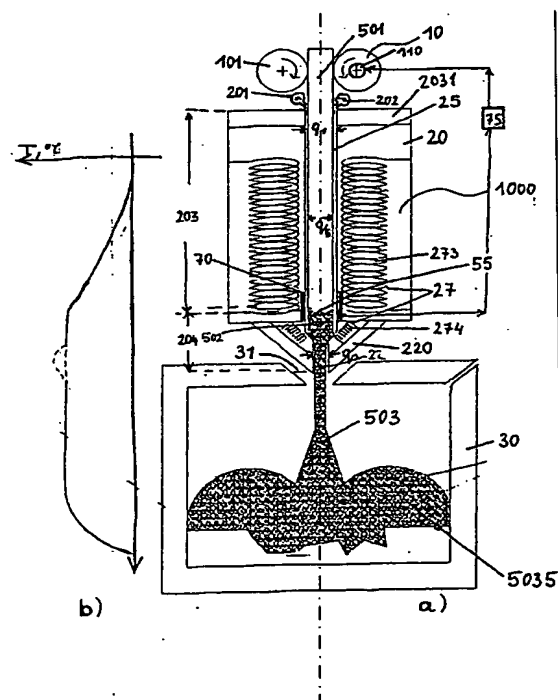
74 Vertreter:
Hagemann, Braun & Held, 81675 München

72 Erfinder:
Wörz, Helmut, Dipl.-Ing., Brixlegg, AT; Degischer,
Hans Peter, Prof. Dipl.-Ing. Dr., Salzburg, AT;
Simancik, Frantisek, Dipl.-Ing. Dr., Bratislava, SI

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Herstellung von Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken auf Basis von (Leicht-)Metallen, deren Herstellung und deren Verwendung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von gasgenerierte Hohlräume aufweisenden Formkörpern auf Basis von Leichtmetallen unter Einsatz eines, durch Kompaktierung eines Gemisches von Partikeln eines Metalls mit Partikeln eines Treibmittels gefertigten Vormaterial-Formkörpers und ist dadurch gekennzeichnet, daß ein derartiger Vormaterial-Formkörper in mindestens einem beheizbaren Heiz- und Schäum-Durchlaufrezipienten mit Ein- und einer Ausbringungsöffnung eingebracht wird, in demselben im wesentlichen unterhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und oberhalb der Schmelztemperatur des Metalls liegende Temperatur erhitzt wird, und daß der sich infolge Zersetzung des Treibmittels unter Volumszunahme im Rezipienten ausbildende, in fließfähig-plastischem Zustand vorliegende, heiße Metallschaum in Form eines kontinuierlich ausgetragenen, fließfähig-flexiblen Metallschaumstranges in zumindest einen mit dem Schaummetall zu erfüllenden Hohlraum bzw. in eine Schaummetallformgebungs-Kokille volumsfüllend eingebracht und zum Erstarren gebracht wird, wonach im wesentlichen ein Entformen des erstarrten Schaummetall-Formkörpers erfolgt. Weitere Gegenstände der Erfindung sind eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens und die Verwendung von Verfahren und Anlage.



DE 197 44 300 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von gasgenerierte Hohlräume bzw. Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken, auf Basis von (Leicht-)Metallen bzw. (Leicht-)Metall-Legierungen, vorzugsweise auf Basis von Aluminium, Anlagen zur Durchführung des Verfahrens und die Verwendung derselben.

Eine bekannte Technik zur Herstellung derartiger Formkörper besteht darin, daß ein Gemisch bzw. Gemenge von Partikeln mindestens eines derartigen Metalls bzw. einer derartigen Legierung, bevorzugt in Pulverform, mit Partikeln mindestens eines – bei erhöhten Temperaturen ein Gas abspaltenden – Treibmittels, ebenfalls bevorzugt in Pulverform, unter Druckbeaufschlagung zu einem Roh-Formkörper kompaktiert wird, wonach derselbe meist nach entsprechender, einer gewünschten Enddimension angepaßten Teilung oder echter Zerkleinerung in eine Kokille, die hier im wesentlichen die Funktion einer Schäumungsform aufweist, eingebracht und dort auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und der Schmelztemperatur der metallischen Matrix gebracht und in dieser Schäumkokille zum gewünschten Formkörper bzw. Werkstück geschäumt wird.

Es sind nun an sich verschiedene Verfahren zur Herstellung poröser Formkörper auf Metall- und Legierungsbasis, bei denen ein Metallpulver-Treibmittelgemisch zu einem Rohling verarbeitet und dann in einer Form zu einer definierten Form aufgeschäumt wird, bekannt geworden.

So beschreibt die US-PS 30 87 807 ein Verfahren, bei dem eine Mischung aus einem Metallpulver und einem Treibmittel bei einem Preßdruck von mindestens 80 Mpa in einem ersten Schritt kalt kompaktiert wird. Durch anschließendes Warmstrangpressen wird die so kompaktierte Mischung umgeformt und dann durch Erhitzung auf mindestens die Schmelztemperatur des Metalls in einer Form zum gewünschten porösen Metallkörper aufgeschäumt.

Weitere Verfahren zur Herstellung von porösen Metallkörpern sind in der DE-PS 40 18 360 bzw. in der EP-A1-460 392 beschrieben. Anstelle eines wie oben erwähnten Kaltkompaktierens mit nachfolgendem Strangpressen mit hohen Umformgraden wird dort ein echtes Heißkompaktieren unterhalb der Gasentwicklungstemperatur vorgeschlagen. Die Herstellung des aufschäumbaren Vormaterials erfolgt durch Heißkompaktierung bei höheren Temperaturen. Das erhaltene Vormaterial kann dann in einer beheizten Form aufgeschäumt werden.

Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von aufschäumbaren Vormaterialkörpern auf Basis einer Metallmatrix beschreibt die GB-PS 939 612. Der dort durch Strangpressen erhaltene Vormaterial-Formkörper wird dann in einer Schäumform einer Erhitzung auf eine Temperatur unterworfen, die über der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und meist knapp unterhalb der Schmelztemperatur des Metalls liegt.

Die Nachteile aller dieser Verfahren bestehen neben der kostenaufwendigen Herstellung der Roh-Formkörper, insbesondere in deren dann notwendigen Zerkleinerung derselben, der aufwendigen Infrastruktur sowie in den langen Exponierzeiten beim Schäumen der Rohlinge.

Weitere wesentliche Nachteile bestehen darin, daß bei diskontinuierlicher oder kontinuierlicher Verarbeitung des Vormaterials zum metallischen Schaummaterial in jedem Fall der Einsatz von auf die Zersetzungstemperatur der gasabgebenden Substanz bzw. über die Schmelztemperatur der Metallmatrix zu erhaltenden Formgebungsorganen, also Kokillen bzw. Schäumformen unumgänglich ist.

Bei diskontinuierlichen Verfahren kommt noch der je-

weils nötige Schritt der Befüllung der Schäumform mit dem in festem Zustand vorliegenden, zerkleinerten, schäumfähigen Vormaterial, also etwa nach Art eines Einschüttens oder durch Einlegen von abgelängtem Stangenmaterial in die Form hinzu.

In jedem Fall bleibt weiters noch zu berücksichtigen, daß z. B. bedingt durch den Temperaturgradienten von der Formwand zur Mitte des aufzuschäumenden Metallmaterials hin, Inhomogenitäten in den Porengrößen und in deren Verteilung im Schaummetallkörper auftreten, wozu noch durch die Außenflächen der Vormaterial-Formkörper selbst unerwünschte Unregelmäßigkeiten und Einschlüsse kommen können.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein möglichst porrenhomogenes bzw. bezüglich seiner Porenstruktur definiert reproduzierbares Schaummetallmaterial zu schaffen, wobei der Prozeß zu dessen Herstellung mit geringem technischen Aufwand beherrschbar sein und verminderten zeitlichen und technisch-infrastrukturellen Aufwand erfordern soll.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein wie eingangs erwähntes Verfahren zur Herstellung von gasgenerierte Hohlräume bzw. Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken auf Basis von (Leicht-)Metallen bzw. (Leicht-)Metalllegierungen, vorzugsweise auf Basis von Aluminium, unter Einsatz mindestens eines durch Kompaktierung eines Gemisches bzw. Gemenges von Partikeln bzw. Pulver mindestens eines (Leicht-)Metalls bzw. einer (Leicht-)Metalllegierung mit Partikeln bzw. Pulver mindestens eines – bei erhöhten Temperaturen ein porengenerierendes Gas abspaltenden – Treibmittels gefertigten Vormaterial-Formkörpers, dessen wesentliche Merkmale darin bestehen, daß mindestens ein derartiger kompaktierter Vormaterial-Formkörper in mindestens einem, insbesondere induktions-, beheizbaren, bevorzugt länglichen, Heiz- und Schäum-Durchlauf-Rezipienten mit jeweils mindestens einer Ein- und mindestens einer Ausbringungsöffnung eingebracht wird, in demselben, im wesentlichen unter Verschuß bzw. Abdichtung zur Einbringungsöffnung hin, auf eine oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und zumindest bei, bevorzugt oberhalb, der Schmelztemperatur des Metalls bzw. der niedrigstschmelzenden Legierungskomponente bzw. der niedrigste-schmelzenden, Komponenten-Zusammensetzung des Vormaterials (Solidustemperatur) liegende Temperatur erhitzt wird, und daß der sich infolge Zersetzung des Treibmittels unter Volumszunahme im Rezipienten ausbildende, zumindest bis zu dessen Ausbringungsöffnung hin in fließfähig-plastischem Zustand gehaltene, heiße Metallschaum in Form eines im wesentlichen kontinuierlich ausgetragenen, fließfähig-flexiblen Metallschaum-Stranges in zumindest einen mit dem Schaummetall zu erfüllenden Hohlraum, insbesondere in das Innere einer Schaummetall-Formgebungs-Kokille volumsfüllend eingebracht und dort zum Erstarren gebracht wird, wonach gegebenenfalls ein Entformen des erstarrten, Poren aufweisenden, Schaummetall-Formkörpers bzw. -Werkstückes und dessen eventuelle Final-Formgebung bzw. -Behandlung erfolgt.

Es ist ein ganz wesentliches Merkmal des neuen Verfahrens, daß die Schäumung des "latent schäumfähigen" Vormaterials nicht, wie bisher, in einer jedenfalls auf eine über die Zersetzungstemperatur des Treibmittels und über die Solidustemperatur des Matrixmetalls liegende Temperatur zu erhitzenden Form bzw. Kokille erfolgen muß, wobei z. B. im Falle des Schäumens von stückigem Vormaterial in Einzelkokillen jede derselben aufzuheizen ist, was jedenfalls erhöhten technischen Aufwand, Materialaufwand und Energieverbrauch nach sich zieht. Hierbei ist aber insbesondere noch jener Zeit- und Manipulations-Aufwand hinzuzurechnen, der nötig ist, um zuerst jede der Kokillen mit dem fe-

sten, latent schäumfähigen Metall-Vormaterial in Form von Stücken, Pellets, abgelängten Bändern, Drähten, Barren, Stangen o. dgl. zu füllen und sie dann erst auf die oben erwähnte, hohe Schäumtemperatur zu erhitzen, wonach wiederum die Abkühlung des gebildeten Schaummetalls in der es umschließenden Kokille abzuwarten ist, bevor deren Neubefüllung erfolgen kann.

Auch bei Durchlaufkokillen für Schaummetall-Endlosprofile u. dgl. ist eine in jedem Fall aufwendige Hochtemperatur-Beheizung und damit eine teure Ausrüstung dieser an sich schon technisch auswendigen Einrichtungen notwendig.

Gemäß der Erfindung erfolgt hingegen die Erhitzung des schaumfähigen, kompakten Vormaterials in der Aufheiz- und Schäumungs-Initiations-Zone des Vormaterials eines entweder repetitiv oder kontinuierlich mit dem Vormaterial zu beschickenden Heiz- und Schäumrezipienten, aus welchem als direkte Folge der Eigenvolumsvergrößerung des Vormaterials bei Erreichung der Schäumbedingungen der plastisch-flexible und fließfähige, heiße Metallschaum, im wesentlichen sich selbst aus dem Rezipienten verdrängend, praktisch fertig mit End-Expansionsvolumen vorliegend, nach Art des Spritzens von geschlagenem Schlagobers (wobei dort dasselbe rückseitig mit Druck heaufschlagt wird, z. B. mittels Kolben oder Spritzsack) od. dgl. als form-ausfüllender Schaumstrang in die letztlich formgebende Kokille einfließen gelassen wird. Die Volumsvergrößerung des Metallmatrixmaterials vom Vormaterial zum Metallschaum hin liegt, je nach Porengröße – abhängig vom Treibmittelgehalt, der Schäumtemperatur, der Matrixmetall-Viskosität u. dgl. Parameter – bei Werten zwischen 1 : 2 bis etwa 1 : 10, ein typischer Wert liegt im Bereich von etwa 1 : 5. Es ist ein wesentliches Merkmal des neuen Verfahrens, daß alles, was mit dem Schäumen zusammenhängt, in dem Heiz- und Schäumrezipienten konzentriert und zentralisiert ist, während die Form-Kokillen praktisch nur periphere, flexibel einsetzbare Finalisierungsgeräte darstellen.

Was die "Abdichtung" des Rezipienten zu dessen Einbringungsseite hin betrifft, so ist damit nur gemeint, daß der sich ja im materialflußabwärtigen Nahbereich der Ausbringungsöffnung(en) ausbildende, fließfähige Metallschaum an einem Austreten aus der Einbringungsöffnung des Rezipienten gehindert sein soll, z. B. durch eine Art einbringungsseitiger Deckel, einen in den Hohlraum des Rezipienten passenden Kolben od. dgl. oder aber bevorzugterweise durch das eingebrachte, innenwand-anliegende Vormaterial eventuell zusammen mit dem zwischen Innenwand und Strang zurückflutenden jedoch dabei erstarrenden Metallschaummaterial selbst.

Zu den Schaum-Formgebungskokillen selbst ist zu bemerken, daß sie praktisch nur wärmefest zu sein brauchen, da ihnen praktisch nur die Aufgabe der Begrenzung des Volumens des fließfähigen Metallschaums in einer gewünschten Gestalt in möglichst alle Volumsbereiche der Schaumform erfüllender Weise zukommt. Da die Schaummenge durch Treibmittelanteil und -zusammensetzung, Schäumtemperatur im Rezipienten und Metall-Viskosität steuerbar ist und das Schaummetall praktisch schon im Endvolumenumfang aus dem Rezipienten in die Schaumform einfließen gelassen wird, ist es zur Sicherung einer vollkommenen Volumserfüllung nicht notwendig, wesentlich mehr Vormaterial in die Schaumform einzubringen als theoretisch erforderlich. Dieser Materialüberschuß und damit -verlust beträgt bei der bisher üblichen, oben beschriebenen Vorgehensweise bei Einzelformen immerhin 30 bis 50%.

Als direkte Folge der nunmehr nicht mehr notwendigen Erhitzung einer Schaummetall-Bildungskokille bzw. -form auf Schmelztemperatur des Matrixmetalls ist es zum ersten

Mal möglich, von einer etwa der Gießtechnik entsprechenden Kokille mit hochohritzer Innenwandung abzugehen und wesentlich dünnerwandige Hohlräume mit einem gewünschten Schaummetall-Körper auszufüllen. So ermöglicht es die Erfindung zum ersten, Hohlprofile oder z. B. Karosserie-Hohlteile direkt mit Metallen auszuschäumen, was bisher wegen der viel zu hohen Temperatur beim direkten Schäumen des metallischen Vormaterials in der Schaumform selbst und der daraus resultierenden Phasenumwandlungen, Rekristallisationsphänomene u. dgl. im metallischen Werkstoff des auszuschäumenden Formteils nicht möglich war. Vielmehr mußte zuerst in einer erhitzten Kokille ein dem auszufüllenden Hohlraum entsprechender Schaummetall-Körper hergestellt werden, der dann nach dem Erstarren in ein Hohlprofil eingeschoben oder ein einen aufzufüllenden Hohlraum eingebracht werden mußte, was nur bei relativ einfach geformten Hohlräumen, die keine inneren Erweiterungen und Hintergreifungen aufweisen, möglich war und wobei immer der Mangel eines tatsächlichen satte allseitigen Anliegens der Schaummetallfüllung an die Innenwandung des Formteils besteht. Dieses satte Anliegen kann bei Anwendung der erfindungsgemäßen Technik eventuell noch durch eine Art Verlötnungs- oder Verschweißungs-Mikroprozeß ergänzt werden.

Im folgenden seien übersichtsweise die Nachteile des bisherigen Verfahrens den Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenübergestellt.

Die Nachteile der bisherigen Verfahrensweise sind im wesentlichen folgende:

- Der Aufschäumungsvorgang erfolgt bei Einzelkokillentechnik diskontinuierlich für jeden Formteil
- Stranggepreßtes Vormaterial muß fragmentiert werden.
- Das Vormaterialstückgut muß in den Formen angeordnet werden.
- Vormaterial, Schäumkammern und Kokillen müssen geheizt und gekühlt werden, sind also im Bau und Betrieb aufwendig.
- Es bedarf einer Ofenanlage, welche größer ist als die Form.
- Die Reproduzierbarkeit der Aufschäumvorgänge ist erschwert. Die Oberfläche des Schaummaterials zeigt die Überstruktur des Einsatz-Vormaterials.
- Die Materialausbeute liegt wegen des erforderlichen Überlaufs nur zwischen 50 und 70%.
- Dünnwandige und hitzeempfindliche Formen können nicht ausgeschäumt werden.
- Die Homogenität bzw. Porenhomogenität des Schaummetalls läßt zu wünschen übrig.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen, neuen Verfahrens liegen etwa in folgenden:

- Kontinuierlich kompaktierte Vormaterialien, wie Drähte, Bänder und Strangpreßprofile können kontinuierlich zum Aufschäumen gebracht werden.
- Das Vormaterial braucht nicht zuerst gestückelt und dann erst in die Schaumform eingebracht oder eingelegt zu werden.
- Die Schaummetallkörper können analog zum Kokillenguß-Karussell gefertigt werden.
- Es können kontinuierlich Schaumlangprodukte wie Stangen, Profile, Bänder, Bleche und dgl. hergestellt werden.
- Die Schaumqualität ist mit hoher Reproduzierbarkeit wesentlich gleichmäßiger.
- Die Herstellung der Schaummetallprodukte erfolgt

mit herabgesetztem Energieeinsatz.

- Die Vormaterialnutzung beträgt mindestens 90%.
- Die Taktzeiten der Herstellung sind kürzer bzw. die Einbringung des Metallschaums in die "kalte" Kokille erfolgt kontinuierlich und die Herstellung wird damit wirtschaftlicher.

Die Schaumdüse selbst oder zusammen mit dem Rezipienten kann mobil ausgeführt werden und bei großvolumigen Formen bzw. auszuschäumenden Hohlräumen von größeren Anlagen direkt an das Werkstück in jeweils geeignete Position herangebracht werden. So besteht praktisch jegliche Automatisierungsmöglichkeit, z. B. analog zu Schweißrobotern.

Eine gemäß Anspruch 2 vorgesehene Kraftbeaufschlagung des Vormaterials von der Einbringungsseite des Rezipienten her erleichtert die Steuerung des gesamten Schaummetalls-Bildungsprozesses und der Produktionsgeschwindigkeit.

Wesentlich unterstützt werden kann die vorerwähnte Druckbeaufschlagung in vorteilhafter Weise durch eine ausgangsseitige Verengung des Rezipienten-Hohlraumes, wie dies Anspruch 3 zum Ausdruck bringt.

Dieses bevorzugte Verfahrensmerkmal führt darüber hinaus auch zu einer verbesserten Poren-Größen- und Verteilungshomogenität im fertigen Schaummetall-Werkstück.

Dieser Homogenitätseffekt ist günstigerweise noch zu intensivieren, wenn die Bereiche der Dimensionierungsverhältnisse gemäß Anspruch 4 eingehalten werden.

Dies gelingt in besonders hohem Maße dann, wenn die Vormaterial-Schäumungszone innerhalb des Heiz-Rezipienten in den im Anspruch 5 genannten Bereichen desselben gehalten wird.

Es hat sich insbesondere für eine kontinuierliche Schaummetall-Profilfertigung als günstig erwiesen, im Rezipienten die geometrischen Bedingungen gemäß Anspruch 6 einzuhalten.

Besonders wirtschaftlich und technisch wenig aufwendig ist eine Art der kontinuierlichen Einbringung des in Festform vorliegenden, latent schäumfähigen Vormaterials in den Rezipienten gemäß Anspruch 7.

Eine auf die jeweilige Schäumungsaufgabe und auf die Eigenschaften des letztlich erhaltenen Schaummetall-Formkörpers gerichtete und vormaterial-angepaßte, bevorzugte Verfahrensweise, die auf der Beobachtung der Lage der Schaumbildungsfront im zugeführten Metall-Kompaktstrang basiert, offenbart der Anspruch 8.

Die Detektion dieser Front ist durch eine relativ abrupte Materialeigenschaftsänderung vom Matrixmetall/Treibmittel-Kompakt-Formkörper zur poren-aufgeweiteten Metallmatrix erleichtert, und kann z. B. mit Sensoren auf Basis einer Gammastrahlen-Dickenmessung oder von Ultraschall erfolgen. Besonders günstig ist es, hier Sensoren einzusetzen, welche auf Basis einer Induktionsankopplung arbeiten, wobei der Umstand ausgenutzt wird, daß die Leitfähigkeit beim Übergang vom kompakten Vormaterial zum Metallschaum etwa um eine Zehnerpotenz sinkt, womit sich der Kompaktmaterial/Schaum-Grenzbereich exakt und reproduzierbar lokalisieren läßt.

Der oben erwähnten Kraft- bzw. Druckausübung und der Forderung nach "Abdichtung" der Eingangsseite des Rezipienten dienlich kann auf vorteilhafte Weise eine Abstimmung von Vormaterial-Außen- und Rezipienten-Innenquerschnitt aufeinander gemäß Anspruch 9 sein.

Besonders günstig können die entsprechenden Bedingungen erreicht werden, wenn den Ausführungen des Anspruches 10 gefolgt wird.

Anpassend ist und gleichzeitig den realen, oft rauen Ver-

fahrensbedingungen im Betrieb Rechnung trägt eine bevorzugte Verfahrensführungs-Variante gemäß Anspruch 11, wobei die vorerwähnten Sensoren besonders hilfreich sein können.

Unnötige Reibungsverluste und Störungen im Verfahrensablauf können mit Gleit-Agentien gemäß Anspruch 12 vermieden werden.

Diesem wichtigen Aspekt vorteilhaft Rechnung trägt auch eine robuste Variante gemäß Anspruch 13.

Zur weitestgehenden Vermeidung von wie weiter oben schon angesprochenen Vormaterialsverlusten kann in sehr effizienter Weise der Einsatz eines Rezipienten-zu-Formgebungs-Kokille-Anschlusses gemäß Anspruch 14 beitragen.

Ein "Zusammenfallen" des in die Kokille eingebrachten Schaums bzw. die sofortige Ausbildung einer späteren, Inhomogenitäten und Materialfehler hervorrufenden, festen Haut am flexiblen Schaummetall-Strang kann in vorteilhafter Weise eine Temperierung der Schaumformungs-Kokille gemäß Anspruch 15 verhindern.

Besonders bevorzugt ist eine Verfahrensführung mit echt kontinuierlich arbeitendem Schäumrezipienten und daran sich anschließender Durchlauf-Schaumformungs-Kokille gemäß Anspruch 16.

Eine geschlossene, im wesentlichen porenfreie Schaummetallprofil-Oberfläche läßt sich mit einer Verfahrensweise mit Deckfolien-Aufbringung auf einen Metallschaumstrang in situ gemäß Anspruch 17 erzielen.

Eine Verbesserung der Bindung der auf den erfindungsgemäß erhältlichen Schaummetall-Strang aufzukaschierenden Folie(n) mit dem Schaummetall läßt sich durch Einsatz eines etwa lometall-plattierten metallischen Folienmaterials gemäß Anspruch 18 erzielen.

Die neue Verfahrenskonzeption der "Metallschaumbildung noch vor Einbringung in die gestaltgebende Form" ermöglicht die Erschließung ganz neuartiger Produktionstechnologien für Metall/Metallschaum-Verbundmaterialien und Werkstücke daraus.

So ist es z. B. bevorzugt, Rohre oder andere Hohlprofile gleichmäßig mit Metallschäumen gewünschter Qualität zu füllen, wie dies gemäß Anspruch 19 vorgesehen ist. Dabei wird der Effekt genutzt, daß auf einer Seite des Hohlprofils eingebrachte Metallschaum beim Erstarren etwas schrumpft, also nicht mehr ganz satt an der Hohlraum-Innenwandung anliegt und im Hohlprofil gleitbar und somit darin mechanisch verschieblich geworden, ein immer länger werdender Stopfen aus erstarrtem Schaummetall vom noch nachdrängenden Schaum in den Profil Hohlraum geschoben wird, bis dasselbe jeweils in seiner vollen Länge mit Schaummetall erfüllt ist.

Bei einer nach diesem Prinzip arbeitenden Verfahrensvariante gemäß Anspruch 20 ist vorgesehen, gleichzeitig mit dem Fortschreiten der Produktion eines Hohlprofils, dessen Inneres mit Metallschaum zu füllen. So kann z. B. als Hohlprofil-Erzeugungsanlage eine Strangpresse vorgesehen sein, in deren "Dorn" die Ausbringungsdüse des Metallschaum-Generierungsrezipienten angeordnet ist. Synchron mit der Auspressung des Profils erfolgt die Schaumeinbringung in dessen Innenraum.

Eine bevorzugte, weniger aufwendige Ausführungsform einer derart synchronen Formherstellung und -ausschäumung bildet den Gegenstand des Anspruches 21.

Weiters kann eine "mitbewegende" Ausbildungsform des Verfahrens gemäß Anspruch 22 von Vorteil sein.

Einen saten, zumindest mechanischen Verbund von Schaummetall und Hohlprofil kann man schließlich nach Art des Anspruches 23 erzielen.

Was die erfindungsgemäß besonders einzusetzenden Vormaterialien betrifft, sind diese in den Ansprüchen 24 bis 26

angeführt, woraus erhellt, daß die erfindungsgemäß erhältlichen Schaummetalle keineswegs nur auf Leichtmetall-Komponenten beschränkt sind, obwohl dieselben bis jetzt in größerer Zahl untersucht worden sind und auch wegen ihrer niedrigeren Schmelzpunkte technisch leichter handhabbar sind.

Die Erfindung betrifft weiters eine Anlage zur Durchführung des oben mit verschiedenen Ausführungsformen beschriebenen Verfahrens.

Diese Anlage zur Herstellung von gasgenerierte Hohlräume bzw. Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken auf Basis von (Leicht-)Metallen bzw. (Leicht-)Metalllegierungen, vorzugsweise auf Basis von Aluminium, unter Einsatz mindestens eines, durch Kompaktierung eines Gemisches bzw. Gemenges von Partikeln bzw. Pulver mindestens eines (Leicht-)Metalls bzw. einer (Leicht-)Metalllegierung mit Partikeln bzw. Pulver mindestens eines – bei erhöhten Temperaturen ein porengenerierendes Gas abspaltenden – Treibmittels vorgefertigten Vormaterial-Formkörpers, vorzugsweise zur Durchführung des Herstellungsverfahrens und seiner Varianten ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage mindestens einen von einer Zuführungs- und Vorschubeinrichtung, insbesondere mit Vorschubrollen oder -walzen mit latent schäumfähigem Vormaterial auf Basis eines kompaktierten Metall/Metall-Legierungs-Treibmittel-Gemenges, bevorzugt in Lang- bzw. Endlosform, wie insbesondere in Stangen-, Draht-, Band- oder Profil-Form, einbringungsseitig versorgbaren, mittels mindestens einer Heizeinrichtung, bevorzugt auf Basis von Induktion, im wesentlichen in voller Länge heizbaren, im wesentlichen rohrartigen Rezipienten mit in Vorschubrichtung länglichem Innenraum jeweils gewünschten Querschnittsprofils umfaßt, dessen Querschnittsfläche im Nahbereich seiner mindestens einen Ausbringungsöffnung, bevorzugt stetig, zu dieser Öffnung bzw. zu diesen Öffnungen hin sich verjüngend ausgebildet ist, an welche, bevorzugt düsenartig ausgebildete(n), Ausbringungsöffnung(en) für den im Rezipienten mittels der genannten Heizung generierten fließfähig-plastischen Metallschaum die Einbringungsöffnung(en) mindestens einer Einzel-Formgebungs-Kokille, eines einen mit Schaummetall zu füllenden Hohlraum aufweisenden Werkstücks, insbesondere Hohlteils, oder mindestens einer Durchlauf-Formgebungskokille, bevorzugt mit beweglichen Bändern oder Rollen bzw. Walzen als Wandungselemente, gegebenenfalls metallschaum-dicht, angeschlossen ist.

Wenn der Innenraum des Durchlaufrezipienten in seinem Querschnitt der Außenkontur des Vormaterialstrangs angeglichen ist, wie gemäß Anspruch 28 vorgesehen, ist damit im wesentlichen eine sichere Abdichtung gegen ein rückseitiges Austreten von Metallschaum aus dem Rezipienten gegeben.

Eine materialstromabwärtige stetige Verengung des Rezipienten-Innenraums bzw. Schaumumlenkung bzw. Vormaterial/Schaum-Querschnittsdimensions- und/oder -gestalts-Änderung (d. h., z. B., daß kreisförmiger Vormaterialeintritt und schlitzförmiger Austritt des Metallschaums vorgesehen sind), innerhalb der im Anspruch 29 genannten Grenzen sichert in günstiger Weise eine gleichmäßige Schaumstruktur des erhaltenen Schaummetall-Formkörpers oder einer Schaummetall-Füllung eines hohlen Werkstücks.

In diesem Sinne vorteilhaft ist auch eine Ausbildung der Ausbringungsöffnung(en) im Vergleich um Rezipienten-Innenquerschnitt gemäß Anspruch 30.

Die hier angesprochene Verengung des Innenraums bzw. Schaumumlenkung verursacht einen lokalen Druckanstieg, welcher einer letztlich günstigen Schaumstruktur förderlich ist.

Um den Schäumvorgang tatsächlich technisch voll im Griff zu haben und eine Feinsteuerung oder Korrekturen von z. B. durch ungleichmäßige Betriebsbedingungen bedingten Störungen vor der Schaumausbringung in die Kokille zu ermöglichen, ist eine Ausführungsart der erfindungsgemäßen Anlage gemäß Anspruch 31 zu bevorzugen.

Reproduzierbare Produktionsbedingungen und damit geringer Ausschuß lassen sich besonders vorteilhaft mit einer Ausstattung der erfindungsgemäßen Anlage gemäß Anspruch 32 erreichen.

Eine Art Schmierung des Vormaterial-Stranges gemäß Anspruch 33 trägt zur Produktionssicherheit wesentlich bei.

Weitere der Qualität und dem Einsatzspektrum der Schaummetallkörper förderliche, vorteilhafte Ausgestaltungen und Ausstattungsvarianten der erfindungsgemäßen Produktionsanlage bilden die Gegenstände der Ansprüche 34 bis 37.

Die Kaschierungseinrichtung gemäß Anspruch 35 führt z. B. zu sandwicharmierten Schaummetall-Strangprodukten mit kaschierten, porenfreien Oberflächen, wobei eine leicht konische Ausbildung der Durchlaufkokille gemäß Anspruch 36 ein Eindringen der Metallfolie in den Schaum und damit eine bessere Bindung an denselben wesentlich unterstützen kann.

Anspruch 37 offenbart ein wesentliches, neues Merkmal der Anwendung, nämlich, daß statt einer Schäumkokille gleich ein mit Metallschaum auszufüllender Hohlkörper an den Rezipienten anschließt.

Eine bevorzugt ausgestaltete Anlage zur schon beschriebenen Herstellung von mit Metall ausgeschäumten, länglichen Hohlprofilen bildet den Gegenstand des Anspruches 38, wobei hier eine synchrone und gleich gerichtete Generierung von Metallschaum und der mit diesem zu füllenden Form, die durch ein gerade in Erzeugung befindliches Hohlprofil, z. B. Rohr, gebildet ist, vorgesehen ist.

Im Prinzip ähnlich, jedoch mit entgegengesetzten Richtungen von fortschreitend generiertem Hohlprofil und synchron generiertem Metallschaum arbeitet die Anlage gemäß Anspruch 39, wobei eine Ausgestaltung gemäß Anspruch 40 besonders gut reproduzierbare Produktionsbedingungen zu erreichen gestattet.

Schließlich ist es vorteilhaft, den mechanischen Verbund von Hohlprofil und Metallschaumkern mit einer Anlage gemäß Anspruch 41 zu sichern.

Letztlich bildet die Verwendung des neuen Verfahrens und der Einsatz der Anlage im Rahmen des Herstellungsprozesses, wie sie dem Anspruch 42 zu entnehmen ist, einen weiteren wesentlichen Gegenstand der Erfindung, wobei die völlig neue Möglichkeit der Ausschäumung von temperatur-empfindlichen Formteilen mit Metallen ein völlig neues Einsatz-Segment auf diesem sich technisch rasch entwickelnden Gebiet eröffnet.

Im folgenden sollen die Erfindung und einige Details derselben aus der Praxis noch ergänzend erläutert werden:

Das kompaktierte, Treibmittel enthaltende, metallische Vormaterial in Form von Langprodukten wird in den mit einem rohrförmigen Durchlaufofen gebildeten Rezipienten eingebracht und im Verlauf dessen in einer dem Querschnitt des Vormaterials entsprechenden Führung bis wenige Grade über die Solidustemperatur erhitzt. Die Führung weist an der Innenseite einen schwer- oder nicht benetzbaren Werkstoff auf. Die Ausgangsöffnung der Führung ist bevorzugt wie eine Düse ausgeführt, durch die der Schaum dann in das Formgebungs-Werkzeug austritt. Der Aufschäumvorgang erfolgt in der Führung, wobei die Materialexpansion seitlich durch die Führung nach hinten, bevorzugterweise durch das passende, noch feste Vormaterial verhindert wird, so daß der heiße, viskose Schaum nur durch die Austrittsdüse in das

formgebende Werkzeug dringen kann. Die Austrittsdüse kann bei Bedarf zusätzlich gesondert beheizt werden. Das Werkzeug, also die Schaumformgebungskokille muß nur soweit angewärmt sein, daß es bzw. sie das Ausfließen und Ausbreiten des Schaums in die gesamte Form hinein erlaubt. Die Zuführung des festen Vormaterials wird vorteilhaft über Laufrollen nach Geschwindigkeit und Transportkraft so gesteuert, daß die Materialzuführung der Schäumgeschwindigkeit angepaßt wird und die Aufschäumfront im in der Führung befindlichen Vormaterial weitgehend stationär bleibt. Es bedarf keines Schaumüberlaufes, wenn z. B. die Luft aus dem Formgebungswerkzeug z. B. durch deren Einlauföffnung verdrängt werden kann.

Zur Herstellung von Einzel-Formteilen ist es günstig, die Schaum-Formen mit einer der Düse des Rezipienten angepaßten Eingußöffnungen auszustatten, in die die Düse eingeführt wird und ein seitliches Ausreten des Schaumes solange verhindert, bis die Form vollständig ausgeschäumt ist. Die Vormaterialzuführung wird vorteilhafterweise abwärts geneigt angebracht, so daß die Schwerkraft das Ausfließen des Schaumes in die Form unterstützt. Mehrere Schaum-Formen sind für eine wirtschaftliche Herstellung größerer Stückzahlen auf einem Karussell anordenbar und es laufen dann die Takte Beschichten, Vorwärmen, Befüllen, Kühlen, Ausformen, Kokillenreinigung parallel ab.

Zur kontinuierlichen Herstellung von Lang- und Flachprodukten ist die Vormaterialzuführung vorteilhaft horizontal bzw. abwärts gering geneigt angeordnet. Die Austrittsdüse des Durchlauf-, Heiz- und Schäumrezipienten mündet zwischen formgebenden Umlaufbändern und/oder Rollen, zwischen denen der plastische Schaum nach der Formgebung erstarrt. Die der jeweiligen Durchlauftrate entsprechende Temperaturführung kann durch entsprechende Beheizung und Kühlung der Bänder bzw. Rollen erfolgen.

Je nach Breite und Dicke des herzustellenden Schaumproduktes können auch mehrere Vormaterialstränge gleichzeitig in den Durchlauf-Rezipienten eingeführt werden. Es können jedoch auch mehrere Stränge in parallelen Führungen eines Rezipienten oder mehrerer davon geschäumt und auf die Umlaufbänder des Formgebungswerkzeugs gebracht werden. Die getrennt einlaufenden Schaumstränge werden dann durch die Umlaufbänder der Schäumungskokille zusammengepreßt, damit sie noch im viskosen Zustand miteinander zu einem einheitlichen Schaum-Langmaterial verschweißen.

Für die Herstellung von Verbunden mit Deckfolien bzw. -blechen können zwischen der/den Austrittsdüsen und den Umlaufbändern Bleche auf beiden Seiten eingebracht werden, die vorteilhafterweise entsprechend vorgewärmt sind, so daß sie mit dem heißen Schaum verschweißen. Bleche mit Lotplattierung können die metallurgische Bindung erleichtern. Die Einlaufgeschwindigkeit der Deckbleche kann über Förderwalzen mit der Schäum- und Schaumbewegungsrate synchronisiert werden.

Zusammengefaßt sind insbesondere folgende Vorteile der Erfindung wichtig:

Eine kontinuierliche Aufschäumung des Vormaterials ergibt: wirtschaftliche Taktzeiten für Formteile, die Einsparung der Vormaterialzerstückelung, wesentlich gleichmäßigere Schaumqualität als bisherige Verfahren und wesentlich verbesserte Materialausbringung, also Ausbeute als Folge einer Minimierung der Verluste durch Überschusschaum zur Sicherstellung der vollständigen Formerfüllung.

Die erfindungsgemäße Konzentration der Energiezuführung auf das Vormaterial in einem zentralen, flexibel einsetzbaren Schaumgenerator ergibt eine wesentliche Einsparung von Energiekosten und eine höhere Lebensdauer der Kokillen. Zusätzlich ist eine wie schon weiter vorne er-

wähnte, problemlose Automatisierungsmöglichkeit gegeben.

Die Kombination mit Umlaufbändern bzw. -walzen erlaubt eine kontinuierliche Herstellung von Lang- und Flachprodukten aus praktisch fertig vorbereitetem Metallschaum sowie die Produktion von Metallschäumen mit Deckblechen, auch mit stoffgleichen und einseitig oder mehrseitig verschweißten oder verlöteten Deckblechen.

Anhand der folgenden Beispiele wird die Erfindung näher erläutert.

Beispiel 1

Vormaterial Draht (Durchmesser 8 mm) aus Aluminium mit 0,8 Gew.-% TiH₂-Treibmittel, strangpreß-kompaktiert, wird von einer Rolle mittels geschwindigkeits- und kraftgesteuerter Förderrollen in ein Führungsrohr aus Grafit mit 8 mm Innendurchmesser geführt. Das Führungsrohr befindet sich in einem senkrechten, mit einem Rohrofen hoher Energiedichte gebildeten Metallschaum-Generator, der ca. 10 g Al/s zum Schmelzen bringt. Das Führungsrohr ist mit einer Grafitdüse (Durchmesser 4 mm) abgeschlossen, die außen kegelförmig ausgebildet ist. Aus der Düse dringt viskoser Al-Schaum mit etwa 20facher Geschwindigkeit der Vormaterial-einbringungsrate. Die kegelförmige Düse paßt von oben in den Anguß einer Stahl-Schaumformgebungskokille für einen 3D-Formteil, die innen beschichtet und auf 350°C vorgewärmt ist. Sobald das Formvolumen mit Schaumaluminium gefüllt ist, was an einem kleinen Überlauf beim Einguß erkennbar ist, wird die Düse abgesetzt und auf eine nächste Kokille aufgesetzt, während die vorhergehende Kokille gekühlt wird. Sechs derartig teilbare Kokillen befinden sich auf einem Karussell mit den Arbeitsstationen: Beschichten, Vorwärmen, Schäumen (Schaumgenerator) aufsetzen und Kokille bzw. Form mit Metallschaum füllen, Abkühlen der Form, Ausformen und schließlich Reinigen der Form.

In Taktzeiten von etwa 1 min lassen sich so gleichmäßig geschäumte Formteile mit einem Einzelvolumen von etwa 1 l erzeugen.

Beispiel 2

Ein Band aus aufschäumbarem Vormaterial aus Al-Si-Gußlegierung mit dem Querschnitt $5 \times 30 \text{ mm}^2$ wird in einem horizontalen Schäumungs-Durchlauf-Rezipienten mit Führungsrohr aus Grafit mit gleichem Innenquerschnitt kontinuierlich eingebracht, so daß 100 g Al/s aufgeschmolzen werden. Die Austrittsdüse hat einen Öffnungsquerschnitt von $3 \times 80 \text{ mm}^2$ und es schließen sich oben und unten 100 mm breite Förderbänder und seitliche, formgebende Walzen einer Durchlauf-Formgebungskokille an.

Es tritt ca. 0,2 l Aluminiumschaum/s aus der Düse auf das untere Band. Das obere Band begrenzt die Dicke des Metallschaums auf 5 mm, so daß ein Schaumaluminiumband mit einem Querschnitt von $100 \times 5 \text{ mm}^2$ mit einer Geschwindigkeit von ca. 400 mm/s produziert wird. Der Schaum beginnt in seiner Hülle zu erstarren, sobald er in die Umlaufbänder eingelaufen ist.

Beispiel 3

Es werden 5 Düsen gemäß dem vorangegangenen Beispiel nebeneinander gereiht und simultan mit Vormaterialbändern beschickt, die in einem Schäum-Rezipienten mit einem Mehrzonen-Durchlauf-Rezipienten erhitzt werden. Die Umlaufbänder der Formgebungs-Durchlaufkokille an den Austrittsdüsen sind 50 cm breit und mit Rollen seitlich begrenzt.

Auf diese Weise kann ein Blechband mit 50 cm Breite kontinuierlich mit einer Rate von etwa 20 m/min hergestellt werden. An der Unterseite der Formgebungs-Kokille wird ein einseitig lotplattiertes Aluminiumblech mit 50 cm Breite und 0,5 mm Dicke mit gleicher Geschwindigkeit in auf 500°C vorgewärmtem Zustand eingespult. Die Durchlauf-längen der Umlaufbänder in der Kokille sind etwa 1 m lang und der Spalt zwischen Ober- und Unterband nimmt von anfänglich 12 mm auf 9 mm ab, um den Schaum auf das Deckblech aufzudrücken. Der Schaum verlötet sich mit dem Blech und es entsteht ein ca. 9 mm hinterschäumtes Aluminiumblech.

Beispiel 4

Ausschäumen von hohlen Längsholmen in einer Fertigungsstraße von Kraftfahrzeugrahmen (insbesondere Al-Spaceframe-Konstruktionen)

Die Schaumdüse(n) des Schaumgenerierungs-Rezipienten wird (werden) automatisiert an Einspritzöffnungen der Holme herangeführt und die Heizung und Vormaterial-Drahtzuführung in Betrieb genommen, wodurch die Holme mit Al-Schaum ausgefüllt werden, ohne thermisch überbeansprucht zu werden. Die neue Methode eignet sich besonders auch für die Fertigung von Crash-Absorbern und zur allgemeinen Steifigkeitserhöhung.

Vorschrift für eine Art der Herstellung des Vormaterials

AlMg_{0,6}Si_{0,4}-Pulver mit einer Korngröße von <400 µm mit 0,4% TiH₂ (<300 µm) wird in einer Presse zu einem zusammenhängenden Körper mit einer Dichte von 2,4 g/cm³ primär-kompaktiert, um dessen Weiterverarbeitung in einer Horizontalstrangpresse zu ermöglichen. Der Körper wird mit einer Temperatur von 200°C in eine Strangpresse eingelegt und innerhalb von 5 s mit einem Preßdruck von 750 Mpa zu einem Rechteckprofil stranggepreßt. Die Temperatur des Rezipienten selbst betrug 300°C. Das entstandene Profil hat eine Dichte von 2,7 g/cm³ und kann, so wie es ist, im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden.

Anhand der Zeichnung werden das erfindungsgemäße Verfahren und zu dessen Durchführung besonders geeignete Ausführungsformen der Produktionsanlage näher erläutert, wobei die Fig. 1 eine Schaummetall-Herstellung mit Einzel-Schaumformgebungs-Kokille, die Fig. 2 eine solche mit Durchlauf-Schaumformgebungs-Kokille, die Fig. 3 eine Schaummetallstrang-Formgebung mit entsprechend profilierten Walzen, die Fig. 4 schematisch eine Ansicht eines Schäumungsrezipienten mit drei Aufheiz- und Schäumungsräumen für das Vormaterial und einer einzigen, gemeinsamen Ausbringungsdüse für den Metallschaum, die Fig. 5 ein Schema eines Rezipienten mit der Anordnung einer Mehrzahl von Schaumausbringungs-Düsen, welche eine einzige Durchlaufkokille beliefert und die Fig. 6, 6a sowie 7 und 8 schematisch Fertigungsvarianten eines mit Metall ausgeschäumten Hohlprofils, konkret eines Rohres, zeigen.

Die Schaummetall-Fertigungsanlage 1000 der Fig. 1 umfaßt im wesentlichen eine Einbringungs- und Vorschubeinrichtung 10 mit Vorschubwalzen 101 mit Antrieb 110 für einen, hier aufgerollten Endlos-Strang aus kompaktiertem Metallschaum-Vormaterial 501, welcher über die mit einer Beschlichtungs-Einrichtung 201 mit einem Schlichtmittel 202 versorgbare Einbringungsöffnung 21 kontinuierlich in den Führungs- und Aufheizkanal 25 eines vorderseitig mit einer Isolierung 2031 versehenen Heiz- und Schäumungsdurchlaufrezipienten 20 mit jeweils gruppenweise rundum angeordneten Heizspiralen oder umgebende Induktionsspulen

273 und 274 einer elektrischen Heizung 27 eingeführt wird.

In der Aufheiz- und Schäumungsinitiations-Zone 203 wird das Vormaterial 501 stetig steigend im wesentlichen auf Schäumungs- und Schmelztemperatur bzw. etwas darüber erhitzt und beginnt, im in die Schaumbildungs- und -austritts-Zone 204 des Rezipienten 20 übergehenden Strangteil 502 des – insgesamt mit 50 bezeichneten – Metallstrangs an der Schaumbildungsfront 55 – im wesentlichen gleichzeitig plastisch-fließfähig werdend – durch Gasentwicklung aus dem Treibmittel einen Metallschaum zu bilden. Der durch die Schaumbildungszone 204 weiter bewegte Metallschaum-Strangabschnitt 502 wird dort in seinem Querschnitt verengt und durch die Heizzone 274 nachkonditioniert. Er tritt letztlich als fließfähig-plastischer Metallschaum-Strang aus der Ausbringungsöffnung 22 des Austritts-Düsenteils 220 aus und gleich durch die anschließende, gegebenenfalls mit der Außenseite der Düsenöffnung 22, bzw. Düse 220 schaumdicht kooperierend ausgebildete Einbringungsöffnung 31 in die vorerwärmte Schaumformgebungs-Kokille 30 ein, wobei der Metallschaum in derselben als Schaummetall-Formkörper 503 gewünschten Gestalt erstarrt. Dieser Erstarrungsvorgang innerhalb der Kokille ist als Erstarrungsfront 5035 symbolisiert.

Mittels an eine zentrale Steuerung 75 angeschlossenem Sensor 70 kann die Schäumungsfront 55 im Strang 50 (501, 502) lagemäßig detektiert werden, und aufgrund dieser Daten steuert die Steuerung 75, z. B. ein Personalcomputer, den Antrieb 110 der Vormaterial-Vorschubrollen 101.

Der Innenquerschnitt q₁ des Rezipienten-Führungshohlraumes 25 entspricht im wesentlichen dem Kontur-Querschnitt q₅ des Vormaterialstrangs 501. Nach Passieren der Schaumstehungsfront 55 verengt sich die Querschnittsfläche bzw. ändert sich die Form des Querschnitts q₁, bis er die Dimension bzw. Querschnittsgestalt q₂, also jene der Schaum-Ausbringungsöffnung 22 aufweist.

In Fig. 1b ist noch schematisch das Temperaturprofil des Material-Gesamtstrangs 50 innerhalb von Durchlauf-Rezipienten 20 und Formgebungs-Kokille 30 wiedergegeben, wobei etwa im Bereich der Düse – angedeutet durch unterbrochene Linien – ein kleines Temperaturmaximum auftreten kann.

Fig. 2 zeigt – bei sonst völlig gleichbleibenden Bezugszeichen-Bedeutungen gegenüber Fig. 1 eine kontinuierlich arbeitende Anlage 1000 mit waagrecht ausgerichteten, in der Bauart sonst mit jenem der Fig. 1 praktisch identischen und gleich ausgestatteten Durchlauf-Rezipienten 20 und einer kontinuierlich arbeitenden, ebenfalls waagrecht angeordneten Durchlauf-Formgebungskokille 300 für den innerhalb des Gesamt-Vormaterialstranges 50 gebildeten Schaummetallstrang 503. Der Strang 501 des kompaktierten, wie in Fig. 1b und 1c im Querschnitt gezeigten Rund- oder Rechteck-Vormaterials wird hier von einer Endlosmaterialrolle abgespult und gelangt – von den Rollen 101 der Einzugs- und Vorschubeinrichtung 10 gezogen – in den Führungsraum 25 des mit Heizeinrichtung 27 ausgestatteten Heiz- und Schäumrezipienten 20, dessen Komponenten völlig analog zu Fig. 1 bezeichnet sind und auch in identischer Weise funktionieren.

Direkt nach seinem Austreten aus der Rezipientenöffnung 22 der Ausbringungsdüse 220 gelangt der heiße, fließfähige Schaummetall-Strangabschnitt 502 zwischen die beiden Endlosbänder 301 der Schaumformgebungs-Kokille 300, wobei zwischen die Bänder 301 und den Schaumstrang oben und unten jeweils ein Blechband 05 – von Rollen 350 abgespult – zur Kaschierung des Metallschaum-Strangs 503 eingezogen werden. Vorteilhaft sind die Bänder 301 strang-

bewegungs-fortschreitend in flachem Winkel aufeinander zulaufend ausgerichtet, wodurch die Bindung der Blechfolie 05 an das Schaummetall gefestigt wird. Hilfreich dafür ist weiters die Erhitzungseinrichtung 357 für die Folienbänder 05 vor ihrem Einzug in die Einbringungsöffnung 31 der Kokille 300. Nach Erstarrung und dem Verlassen der Kokille 300 durch deren Schaummetallausbringungsöffnung 32 durchläuft der nun feste – in Fig. 1d als Rechteckprofil gezeigte – Schaummetallstrang 503 noch durch, gegebenenfalls etwa auch angetriebene, paarweise Führungs- oder Abzugsrollen 302. Die Steuerung der Anlage 1000 kann analog zu jener gemäß Fig. 1 ebenfalls mittels der Schäumungsfront 55 im Strang 50, 501, 502 detektierendem Sensor 70 und mit ihm und dem Antrieb 110 der Rezipienten-Einzugsrollen 101 sowie der Heizung 27, 273, 274 des Rezipienten 20 steuerungssignal-verbundener Steuerungseinheit 75 vorgenommen werden.

Die Fig. 3 zeigt schematisch, wie anstelle einer mit Formgebungs-Bändern ausgerüsteten Durchlauf-Kokille eine solche auch mit – bevorzugterweise in hier nicht dargestellten Mehrzahl vorliegenden und vorteilhafterweise heiz- und/oder kühlbaren Formgebungswalzen 302 mit entsprechender Profilierung zur Herstellung von Schaummetall-Profilen 503 runden, quadratischen oder komplizierteren Querschnitts (Fig. 3a, b, c) dienen können.

Fig. 4 zeigt schematisch, wie in einem Heiz- und Schäumrezipienten 20 mit Heizspiralen 273 nebeneinander drei Führungskanäle 25 kreisrunden Querschnitts für rundes, schaumfähiges Vormaterial vorgesehen sein können, welche letztlich – nach entsprechender Vereinigung und Verjüngung – in eine gemeinsame Ausbringungs-Düsenöffnung 22 für den austretenden fließfähigen Metallschaumstrang münden.

Ebenfalls nur grob schematisch soll Fig. 5 zeigen, wie sich drei aus innerhalb einer umschreibenden Rechteckform an deren Umfangslinie angrenzenden Düsenöffnungen 22 eines – nicht gezeigten – Durchlaufrezipienten – austretenden Metallschaumsträngen 502 nach deren Vereinigung in einer Durchlauf-Kokille 300 mit Begrenzungswalzen 302 – ein Metallschaum-Strang 503 rechteckigen Querschnitts produzieren läßt.

Für eine in der Fig. 6 (mit ansonsten zu den vorherigen Figuren analogen Bezugszeichenbedeutungen) gezeigten Fertigung von mit Schaummetall gefüllten Hohlprofilen, beispielsweise Rohren 30 ist eine Anlage vorgesehen, bei welcher das auszuschäumende Werkstück 30 selbst erst während des Einströmens des Metallschaumes 502 fortschreitend gebildet wird. Die Gesamtanlage weist hier als Hohlprofil-Erzeugungseinrichtung eine Strangpresse 60 für metallische Werkstoffe mit Rezipienten 62, Preßbolzen 61 und Düse 63 mit Dorn 631 auf, aus welcher kontinuierlich ein Metallrohr 30, z. B. aus einer Al-Legierung, ausgepreßt wird. Der Dorn 631 der Düse 63 ist nun so ausgebildet, daß in ihn die Ausbringungsöffnung 22 bzw. -düse 220 eines erfindungsgemäßen Metallschaum-Generierungsrezipienten 20 integriert ist. Zeit/mengensynchron mit der fortschreitenden Bildung des auszuschäumenden Hohlprofils 30 wird in dasselbe Metallschaum 502 aus dem Rezipienten 20 über die Dorn-Düse 220 eingebracht und erfüllt gleichzeitig mit der Bildung des Hohlprofils 30 dasselbe fortschreitend mit dem genannten Metallschaum 502, wobei unter Umständen gleich eine zumindest punktuelle Verschweißung von letztlich erstarrtem Schaum 502 und Hohlprofil 30 erfolgen kann. Da gleichzeitig mit der an sich volumsvermindernden Erstarrung des Schaums 502 zu 503 auch das Hohlprofil 30 querschnittsmäßig "schrumpft", kann erreicht werden, daß der mechanische Verbund von Schaumkern und Profil-Wandung gleich erhalten bleibt. Für den Fall verschiedener

Schrumpfraten kann eine den Profil-Innenquerschnitt verringemde Letztbehandlung des erhaltenen Schaummetall/Metall-Verbundprofils, z. B. durch Recken, vorgesehen sein.

5 Fig. 6a zeigt eine Ausführungsvariante für die Erzeugung von Hohlprofilen.

Bei einer Verfahrensweise gemäß den Fig. 7 und 8 ist ebenfalls eine Hohlprofil-Erzeugungseinrichtung vorgesehen, im konkreten Fall wieder eine Strangpresse 60, aus welcher fortschreitend ein Hohlprofil 30 ausgepreßt wird. An die Öffnung 31 des freien Endes des Hohlprofils 30 ist an dieses – metallschaumdicht anliegend oder mit diesem verbunden – die Metallschaum 502-Ausbringungsöffnung 22 bzw. Düse 220 eines Metallschaum-Generierungsrezipienten 20 angeschlossen und die Düse 220 bzw. mit ihr der Rezipient 20 wandern synchron mit dem Fortschreiten des Profilausstosßes aus der Strangpresse 60 mit (zurück), wobei zeit/mengen-synchron Metallschaum 502 aus dem Rezipienten 20 in den Innenraum des Hohlprofils 30 eingebracht wird. Zur Strangpreßdüse 63 hin erstarrt der Schaum 502 volumsvermindernd und bildet eine Art Stopfen 503, der infolge Kontraktion im sich fortschreitend bildenden Hohlprofil 30 gleitbar verschieblich ist und bei entsprechend gesteuerter Synchronisation von Strangpreß- und Schäumrate positionskonstant bleibend in Richtung zum Schaumgenerator 20 hin mit der Hohlprofil-Verlängerung mitwächst. Hier ist letztlich eine den Hohlprofil-Innenquerschnitt verringemde Nachbehandlung, z. B. eine Reckung vorzusehen.

Bezugszeichenliste

Schlüssel zur Fig. 1

502/503 Schäumendes/geschäumtes Metall

30 Formgebungs-Kokille

Schlüssel zur Fig. 2

501 Vormaterial oder -strang

101 Zuführungsrollen

2031 Isolation

27 Heizeinrichtung

50 Materialstrang

220 Erwärmte Düse

301 Transportband (gekühlt)

300 Schaumformgebungskokille

05 Optionale Abdeckschicht

a: Unterseite

b: Oberseite

50 Schaummetall (erstarrt)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von gasgenerierte Hohlräume bzw. Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken auf Basis von (Leicht-)Metallen bzw. (Leicht-)Metallegierungen, vorzugsweise auf Basis von Aluminium, unter Einsatz mindestens eines durch Kompaktierung eines Gemisches bzw. Gemenges von Partikeln bzw. Pulver mindestens eines (Leicht-)Metalls bzw. einer (Leicht-)Metallegierung mit Partikeln bzw. Pulver mindestens eines – bei erhöhten Temperaturen ein porengenerierendes Gas abspaltenden – Treibmittels gefertigten Vormaterial-Formkörpers, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein derartiger kompaktierter Vormaterial-Formkörper in mindestens einem, insbesondere induktions-, beheizbaren, bevorzugt länglichen, Heiz- und Schäum-Durchlauf-Rezipienten mit jeweils mindestens einer Ein- und mindestens einer Ausbringungsöffnung eingebracht wird,

in demselben, im wesentlichen unter Verschuß bzw. Abdichtung zur Einbringungsöffnung hin, auf eine oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und zumindest bei, bevorzugt oberhalb, der Schmelztemperatur des Metalls bzw. der niedrigstschmelzenden Legierungskomponente bzw. der niedrigstschmelzenden, Komponenten-Zusammensetzung des Vormaterials (Solidustemperatur) liegende Temperatur erhitzt wird,

und daß der sich infolge Zersetzung des Treibmittels unter Volumszunahme im Rezipienten ausbildende, zumindest bis zu dessen Ausbringungsöffnung hin in fließfähig-plastischem Zustand gehaltene, heiße Metallschaum in Form eines im wesentlichen kontinuierlich ausgetragenen, fließfähig-flexiblen Metallschaum-Stranges in zumindest einen mit dem Schaummetall zu erfüllenden Hohlraum, insbesondere in das Innere, einer Schaummetall-Formgebungs-Kokille volumsfüllend eingebracht und dort zum Erstarren gebracht wird, wonach gegebenenfalls ein Entformen des erstarrten, Poren aufweisenden, Schaummetall-Formkörpers bzw. -Werkstückes und dessen eventuelle Final-Formgebung bzw. -Behandlung erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß, vorzugsweise durch eine Vorschub- oder Kolbenbewegung, auf den bzw. die in den Heiz- und Schäumrezipienten eingebrachten Vormaterial-Formkörper von der Einbringungsseite des genannten Rezipienten her in Richtung zu dessen Ausbringungsöffnung hin eine Kraft- bzw. Druckbeaufschlagung erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß durch, bevorzugt im wesentlichen stetige, Verengung des ein jeweils vorgesehenes Innenprofil aufweisenden, im wesentlichen rohrartigen Innenraumes des Durchlauf-Rezipienten im Bereich vor dessen Ausbringungsöffnung die Querschnittsfläche der den Rezipienten durchlaufenden Vormaterial-Füllung vor Austritt des in demselben generierten, plastifizierten Metallschaums aus der Ausbringungsöffnung, bevorzugt im wesentlichen stetig, insbesondere düsenartig, verringert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsfläche des in den Durchlauf-Rezipienten eingebrachten Vormaterials im Bereich von dessen Ausbringungsöffnung auf ein Zwanzigstel bis die Hälfte der eingangsseitigen bzw. restlichen Rezipienten-Innenraum-Querschnittsfläche vermindert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gasentwicklung aus dem Treibmittel des Vormaterials und die Bildung des fließfähig-plastifizierten Metallschaums aus dem in den Rezipienten eingebrachten Vormaterial im wesentlichen noch vor Erreichung des Bereiches und/oder im Bereich der Verminderung der Querschnittsfläche der Vormaterial-Füllung im Bereich von dessen Ausbringungsöffnung eingeleitet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schaum-Rezipient eingesetzt wird, dessen Metallschaum Ausbringungsöffnung bzw. -Austrittsdüse mit seiner sonstigen, restlichen Querschnittsform im wesentlichen geometrisch ähnliche Querschnittsform aufweist, oder daß im Falle einer Mehrzahl von Düsen, dieselben innerhalb einer geometrisch ähnlichen Flächenform, bevorzugt an deren Umfangslinie angrenzend, angeordnet sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, da-

durch gekennzeichnet, daß die Einbringung der Vormaterial-Formkörper in den Heiz- und Schäum-Rezipienten – im wesentlichen kontinuierlich oder quasikontinuierlich – in Form von Lang- bzw. Endlos-Vormaterial als Einzelmaterialstrang, wie z. B. als Stab, Draht, Band oder Profil, oder von mehreren, im wesentlichen längs aneinanderliegenden derartigen Vormaterial-Strängen vorgenommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einbringung des Lang- bzw. Endlos-Vormaterials in den Schäum-Rezipienten mittels – bevorzugt aufgrund des Schäumvorganges, insbesondere aufgrund der Lage der Schaumbildungs-Front im Vormaterial innerhalb des Rezipienten – steuerbaren Vorschub-Rollen oder -Walzen vorgenommen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß in den Heiz- und Schäum-Rezipienten ein Vormaterial-Lang- bzw. Endlos-Strang bzw. ein Stapel, Bündel od. dgl. solcher Stränge eingebracht wird, dessen bzw. deren Querschnittsfläche und -form einzeln bzw. insgesamt, im wesentlichen der Querschnittsfläche und -form des Rezipienten-Innenraums entspricht.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Abschluß bzw. die Abdichtung des Durchlauf-Rezipienten zu dessen Einbringungsöffnung hin durch den bzw. die in seiner bzw. ihrer Querschnittsfläche und -form der Querschnittsfläche und -form des Rezipienten entsprechende(n) Strang bzw. Stränge selbst und bevorzugterweise zusätzlich durch den zwischen Rezipienten-Innenwandung und Strangoberfläche in Richtung zur Einbringungsseite hin zurückdringenden, hitze-plastifizierten Metallschaum erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Einbringungsgeschwindigkeit der jeweiligen Vormaterial-Formkörper, insbesondere des jeweiligen Lang- oder Endlos-Vormaterials, in den Heiz- und Schäum-Durchlauf-Rezipienten und Austrittsgeschwindigkeit des plastifizierten, geschäumten Metalls aus demselben so aufeinander abgestimmt werden, daß die Front des Beginns der Zersetzung des Treibmittels bzw. der Schaumporen-Bildung und/oder der Plastifizierung innerhalb des Vormaterials im Rezipienten in einem jeweils vorgegebenen, im wesentlichen konstanten Abstand von dessen Ausbringungsöffnung bzw. -düse bzw. vom Beginn der Rezipienten-Innenquerschnitts-Verengung gehalten wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß, zusammen mit den Vormaterial-Formkörpern, insbesondere mit dem Vormaterial-Langbzw. Endlos-Strang, zwischen Strang und Rezipienten-Innenwandung ein hitzefestes Schicht- bzw. Gleitmittel, vorzugsweise Grafit, eingebracht wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rezipient eingesetzt wird, dessen Innenwandung und Ausbringungsdüse mit einer hitzefesten, mit Metall im wesentlichen nicht-benetzbaren Gleitmaterial-Beschichtung oder -Verkleidung, vorzugsweise auf Basis von Grafit oder Aluminiumnitrat, ausgestattet ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest während des Schaumauslauf-Vorganges die Ausbringungsöffnung bzw. -düse des Heiz- und Schäumrezipienten gegenüber dem plastifiziert-fließfähigen, Metallschaum dichtend an die Einbringungsöffnung der Schaum-Formge-

bungs-Kokille oder eines auszuschäumenden Hohlformteils angeschlossen wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenwandung der Schaum-Formgebungskokille auf eine Temperatur von zumindest 200°C unterhalb der Schmelztemperatur, im Falle von Aluminium und Aluminiumlegierungen auf Temperaturen im Bereich von 250 bis 350°C, vorerwärmt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der den Heiz- und Schäum-Rezipienten verlassende Strang des plastifizierten, fließfähigen Metallschaums kontinuierlich durch eine, bevorzugt mit – dem jeweils vorgesehenen Schaummetall-Profil-Querschnitt entsprechend angeordneten bzw. ausgebildeten – Umlaufbändern und/oder Walzen bzw. Rollen gebildete, formgebende Schaummetall-Durchlaufkokille geführt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß an zumindest einer, bevorzugt an zwei einander im wesentlichen gegenüberliegenden, Seitenfläche(n) des die Schaum-Formgebungs-Durchlaufkokille kontinuierlich verlassenden Metallschaum-Strangs zumindest eine, bevorzugt vorerhitzte, gegebenenfalls Öffnungen aufweisende, Folie aus mit dem Schaummetall kompatiblen bzw. verschweißfähigem, insbesondere identischem Metall, an der Einlaufseite der Formgebungs-Kokille in dieselbe eingezogen und – an den Metallschaum anliegend und mit demselben zumindest punktuell verschweißend – mit dem Schaummetallstrang durch die, vorzugsweise sich in Schaummetallstrang-Bewegungsrichtung in geringem Ausmaß, insbesondere von 0,5 bis 25% querschnittsverengend ausgebildete, Kokille geführt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Metallfolie an den Schaummetallstrang anliegend in die Schaummetall-Formgebungs-Kokille eingezogen und dort in den Metallschaum gedrückt wird, welche an der dem Schaummetall-Strang zugekehrten Seite mit einem Verschweißungs- oder Verlötlungs-Hilfsmetall beschichtet ist.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erhalt von in ihrem inneren Schaummetall aufweisenden Hohlprofilen der den Schäumrezipienten verlassende Metallschaum in den Innenraum eines Metall-Hohlprofils, beispielsweise Rohres, eingebracht wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der den Rezipienten verlassende Metallschaum zeit/mengen-synchron in mindestens einen sich vergrößernden Innenraum eines gleichzeitig mit der Schaumausbringung, bevorzugt durch Strangpressen, generierten Metall-Hohlprofils, beispielsweise Rohres, eingebracht wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der den Rezipienten verlassende Metallschaum zeit/mengen-synchron in mindestens einen sich vergrößernden Innenraum eines gleichzeitig mit der Schaumausbringung, bevorzugt durch Strangpressen, generierten Metall-Hohlprofils, beispielsweise Rohres, eingebracht wird, wobei die Einbringung des Metallschaums an der von der Hohlprofil-Ausstoßseite einer Hohlprofil-Erzeugungsanlage, insbesondere Strangpresse, entfernten bzw. abgewandten freien Öffnung des Hohlprofils erfolgt.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Schäumrezipient bzw. zumindest dessen Ausbringungsöffnung mit dem sich wäh-

rend des Hohlprofil-Generierungsvorgangs von der Ausstoßseite der Hohlprofilherstellungsanlage weggehenden Hohlprofil, bzw. dessen freier Öffnung, bevorzugt metallschaumdicht an dieselbe anliegend gehalten oder mit ihr verbunden, mitbewegt wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß nach erfolgter Füllung des Hohlprofils, insbesondere Rohres, mit dem Metallschaum und dessen Erstarrung zur Erreichung eines Verbundes desselben mit der Hohlprofil-Innenwand das Hohlprofil, insbesondere Rohr, bevorzugt durch Rekken, innenquerschnitts-vermindernd verformt wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß als kompaktiertes, Treibmittel enthaltendes Vormaterial ein solches auf Basis von Al, Mg, Zn, Ti, Si, Cu, Mn, Fe oder auf Basis von mindestens eines dieser Metalle enthaltenden Knet- und/oder Gußlegierungen, insbesondere Al bzw. -Al-Guß- und/oder -Knetlegierungen und gegebenenfalls von Stählen, eingesetzt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß als kompaktiertes Vormaterial ein solches auf Basis einer Al-Mg-Si-Leichtmetall-Legierung, insbesondere auf Basis von AlMg0,4, AlMg10Si1, AlMg1Si1, AlMg1Si0,6 oder AlMg0,6Si0,4 eingesetzt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß ein kompaktiertes Vormaterial eingesetzt wird, dessen Treibmittel durch Übergangsmetall-Hydride, insbesondere mit TiH₂, ZrH₂, LaNi₅H₇ oder FeTiH₂ gebildet ist.

27. Anlage zur Herstellung von gasgenerierten Hohlräume bzw. Poren aufweisenden Formkörpern bzw. Werkstücken auf Basis von (Leicht-)Metallen bzw. (Leicht-)Metallegierungen, vorzugsweise auf Basis von Aluminium, unter Einsatz mindestens eines, durch Kompaktierung eines Gemisches bzw. Gemenges von Partikeln bzw. Pulver mindestens eines (Leicht-)Metalls bzw. einer (Leicht-)Metallegierung mit Partikeln bzw. Pulver mindestens eines – bei erhöhten Temperaturen ein porengenerierendes Gas abspaltenden – Treibmittels vorgefertigten Vormaterial-Formkörpers, vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß sie

mindestens einen von einer Zuführungs- und Vorschubeinrichtung (10), insbesondere mit Vorschubrollen oder -walzen (101), mit latent schäumfähigem Vormaterial (501) auf Basis eines kompaktierten Metall/Metall-Legierungs-Treibmittel-Gemenges, bevorzugt in Lang- bzw. Endlosform, wie insbesondere in Stangen-, Draht-, Band- oder Profil-Form, einbringungsseitig versorgbaren, mittels mindestens einer Heizeinrichtung (27), bevorzugt auf Basis von Induktion, im wesentlichen in voller Länge heizbaren, im wesentlichen rohartigen Rezipienten (20) mit in Vorschubrichtung (r) länglichem Innenraum (25) jeweils gewünschten Querschnittsprofils umfaßt, dessen Querschnittsfläche (q₁) im Nahbereich seiner mindestens einen Ausbringungsöffnung (22), bevorzugt stetig, zu dieser Öffnung (22) bzw. zu diesen Öffnungen hin sich verjüngend ausgebildet ist,

an welche, bevorzugt düsenartig ausgebildete(n), Ausbringungsöffnung(en) (22) für den im Rezipienten mittels Heizung generierten, fließfähig-plastischen Metallschaum (502) die Einbringungsöffnung(en) (31) mindestens einer Einzel-Formgebungs-Kokille (30), eines einen mit Schaummetall zu füllenden Hohlraum

aufweisenden Werkstücks, insbesondere Hohlteils, Hohlprofils oder mindestens einer Durchlauf-Formgebungskokille (300), bevorzugt mit beweglichen Bändern (301) und/oder Rollen bzw. Walzen (302) als Wandungselemente, gegebenenfalls im wesentlichen metallschaum-dicht, angeschlossen ist.

28. Anlage nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß der längliche Innenraum (25) des Heiz- und Schäum-Rezipienten (20) einen dem Querschnitt (q_5) eines Vormaterialstrangs (501) oder eines Bündels derartiger Stränge in Flächengröße und Form entsprechende Querschnittsfläche (q_1) aufweist.

29. Anlage nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis zwischen der Querschnittsfläche (q_1) des länglichen Rezipienten-Innenraums (25) zur Querschnittsfläche (q_2) von dessen Metallschaum-Ausbringungsöffnung (22), insbesondere -düse, von 2 : 1 bis 20 : 1 beträgt.

30. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß ihr Heiz- und Schäumrezipient (20) eine Metallschaum-Ausbringungsöffnung (22), insbesondere Austrittsdüse, aufweist, deren Querschnittsform mit der Querschnittsform der Aufheiz- und Schäuminitiations-Zone (203) des Rezipienten (20) geometrisch ähnlich ist, oder daß im Fall einer Mehrzahl von Ausbringungsöffnungen (22) dieselben innerhalb einer geometrisch ähnlichen Fläche, bevorzugt an deren Umfangslinie angrenzend, angeordnet sind.

31. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Heiz- und Schäumrezipient eine, bevorzugt auf Induktion beruhende, elektrische Heizeinrichtung (273) für seine längliche Vormaterial-Aufheiz- und Schäuminitiations-Zone (203) und eine im wesentlichen im Nahbereich der Metallschaum-Ausbringungs-Öffnung(en) (22), insbesondere -Düse(n) angeordnete, bevorzugt gesondert von der erstgenannten steuerbare, weitere Heizeinrichtung (274) für die Schäumungskomplettier- und Schaumausstoß-Zone (204) aufweist.

32. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Heiz- und Schäum-Durchlauf-Rezipient (20) im Bereich des vormaterialstromabwärtigen Endes seiner Aufheiz- und Schäuminitiations-Zone (203) mindestens einen Detektor bzw. Sensor (70) zur Bestimmung der Lage bzw. Lageänderung der Schäumungsfront (55) innerhalb des den Rezipienten (20) durchlaufenden Vormaterials (501, 502), bevorzugt auf Basis der Ermittlung der Induktiv-Leitfähigkeit oder Ultraschall, aufweist, von welchem aus über eine Steuerung (75), bevorzugt mittels Computer, Chip od. dgl. die Geschwindigkeit der Vormaterial-Vorschubseinrichtung (10) und/oder die Temperaturbereiche und -gradienten der Heizeinrichtung (27, 273, 274) der Aufheiz- und Schäuminitiations-Zone (203) und/oder der Schäumungskomplettier- und Schaumausstoß-Zone (204) des Rezipienten (20) regel- und steuerbar ist bzw. sind.

33. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Einbringungsöffnung (21) des Rezipienten (20) eine Einrichtung (201) zur Aufbringung eines Schlicht- bzw. Gleitmittels (202) auf den Vormaterial-Strang (501) angeordnet ist.

34. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandung der beiden Rezipienten-Zonen (203) und (204) mit einem hitzefesten, gleitfähigen Belag bzw. einer derartigen Be-

schichtung bzw. Auskleidung gebildet bzw. versehen ist.

35. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Metallschaum-Einlauföffnung (31) einer Durchlauf-Formgebungskokille (300) mindestens eine, bevorzugt mit Heizung (351) ausgestattete Einrichtung (350) für den Einzug mindestens einer Metallfolie (05) zur zumindest einseitigen Beschichtung bzw. Kaschierung des in der Kokille (300) erstarrenden Schaummetall-Profilstranges (53) angeordnet ist.

36. Anlagen nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchlauf-Kokille (300) zu ihrer Auslaufseite (32) hin querschnittsflächen-verjüngend ausgebildet ist.

37. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle einer Schaumformgebungs-Kokille (30, 300) ein einen mit Metallschaum zu erfüllenden Hohlraum aufweisendes Werkstück, z. B. ein Karosserieeil od. dgl. anschließbar ist.

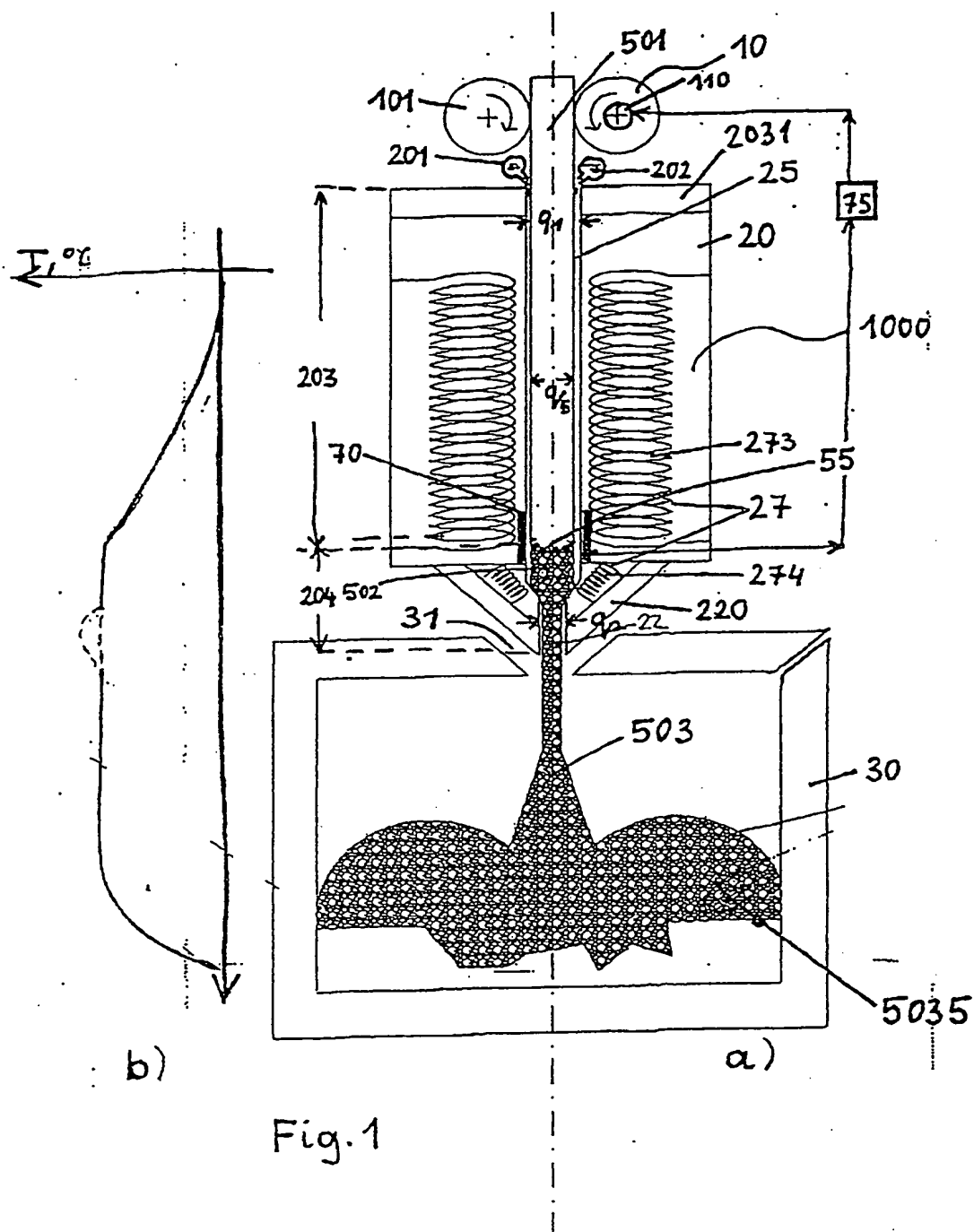
38. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß sie zur Herstellung von mit Schaummetall (503) gefüllten Hohlprofilen zusätzlich zum Metallschaum-Generierungsrezipienten (20) eine Hohlprofil-Erzeugungseinrichtung, insbesondere Strangpreßeinrichtung (60), umfaßt, in deren Innenraum der Hohlprofilform (30) generierenden Dorn (631) die Ausbringungsöffnung (22) bzw. -düse (220) eines Metallschaum-Generierungs-Rezipienten (20) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche angeordnet ist.

39. Anlage nach einem der Ansprüche 27 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Hohlprofil-Erzeugungseinrichtung, insbesondere Strangpreßeinrichtung (60), und einen Metallschaum-Generierungsrezipienten (20) umfaßt, von welchen beiden Einrichtungen (20, 60) zumindest eine im wesentlichen in Längsachsenrichtung zur anderen relativ beweglich ist, wobei die Ausbringungsöffnung (22) bzw. -düse (220) des Rezipienten (20) im wesentlichen metallschaumdichtend an die Öffnung (31) am freien Ende der Hohlprofil-Erzeugungseinrichtung (60) verlassenden Hohlprofils (31) in Anlage haltbar bzw. damit verbindbar ist.

40. Anlage nach Anspruch 38 oder 39, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine von der Hohlprofil-Erzeugungsanlage (60) mit deren Produktionsparametern versorgbare Anlage zur Steuerung der Metall-Schaum-Ausbringungsrate des Metallschaum-Generierungsrezipienten (20) aufweist.

41. Anlage nach einem der Ansprüche 38 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß ihr eine Hohlprofil-Innenquerschnitts-Verminderungseinrichtung, insbesondere eine Einrichtung zur Hohlprofil-Längsreckung, nachgeordnet ist.

42. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26, bevorzugt unter Einsatz einer Anlage gemäß einem der Ansprüche 22 bis 32, zur Herstellung von, gegebenenfalls metallfolienkaschierten Schaummetall-Formkörpern bzw. -Werkstücken, sowie von mit Schaum-(Leicht-)Metall gefüllte Hohlräume aufweisenden Hohl-Formteilen bzw. Hohlprofilen bzw. Werkstücken aus gegenüber Hitze wenig oder nicht beständigen Materialien, insbesondere Metallen, und gewünschtenfalls aus einem mit Matrixmetall ihrer Schaummetallfüllung identischen (Leicht-)Metall.



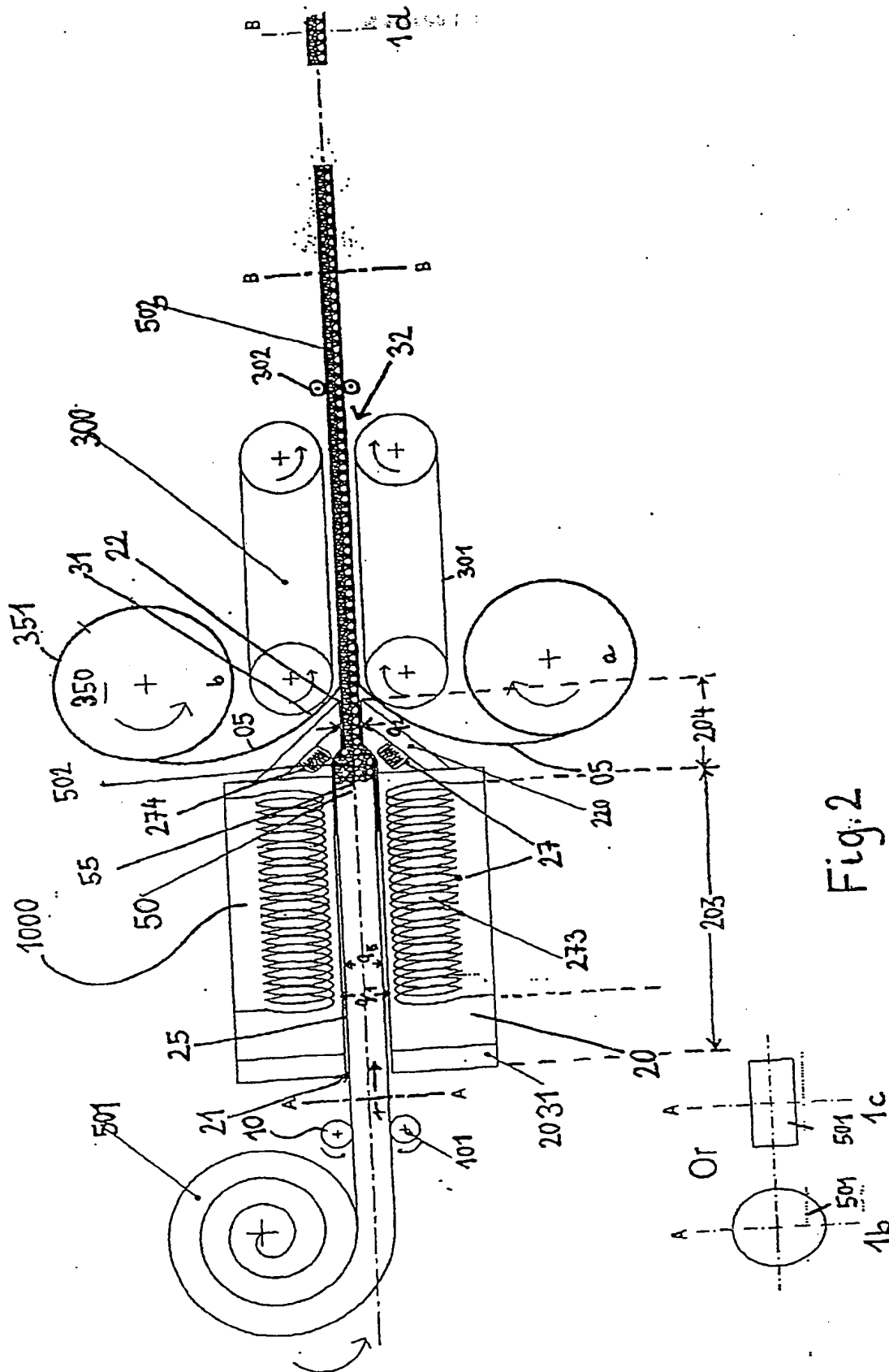
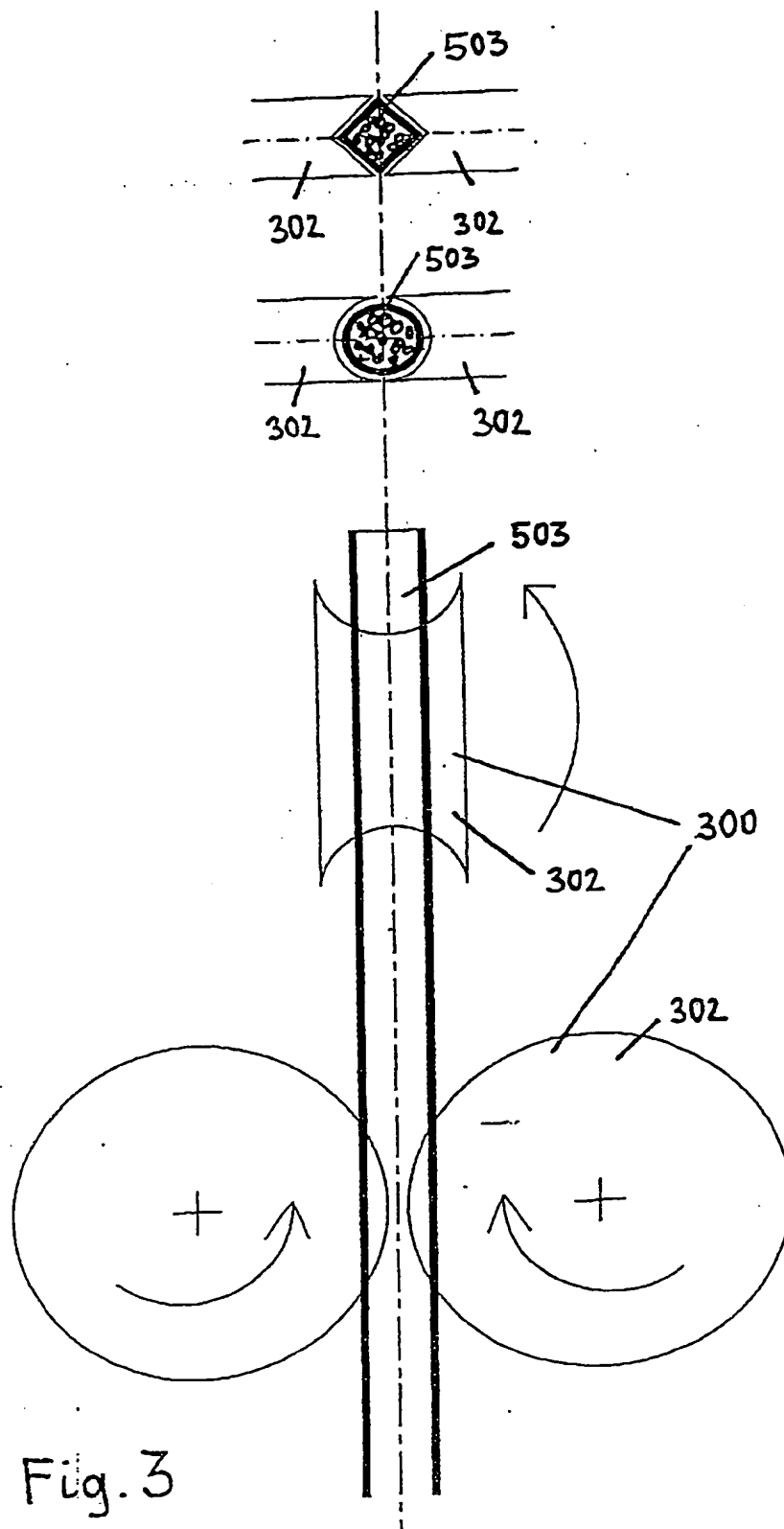
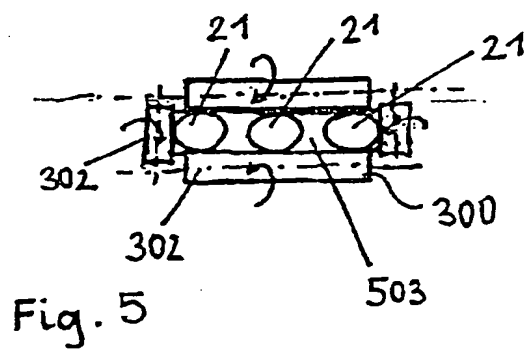
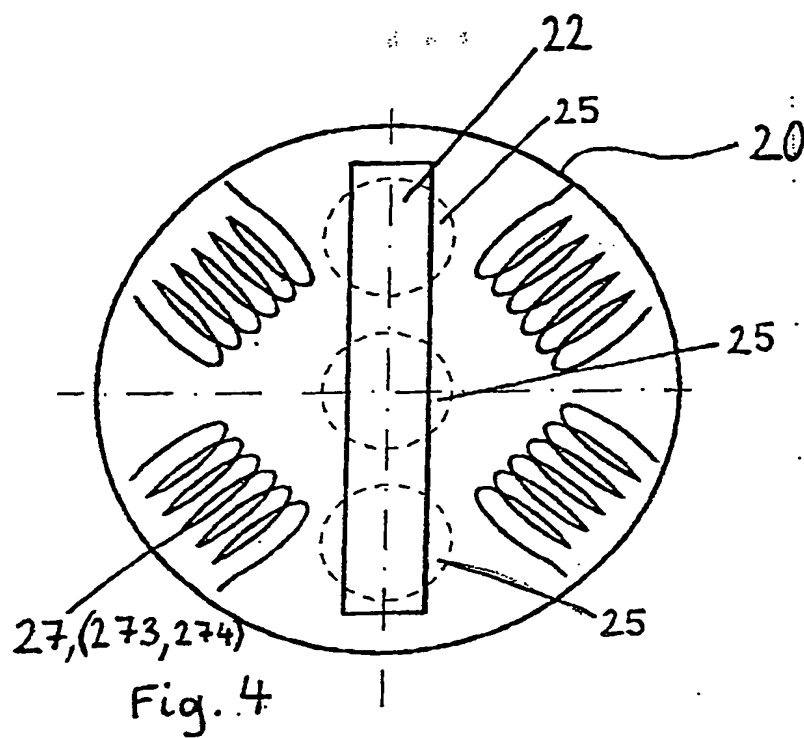


Fig. 2





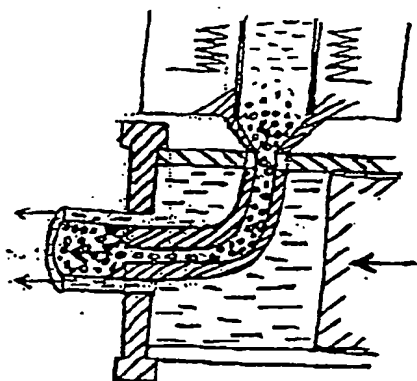


Fig. 6

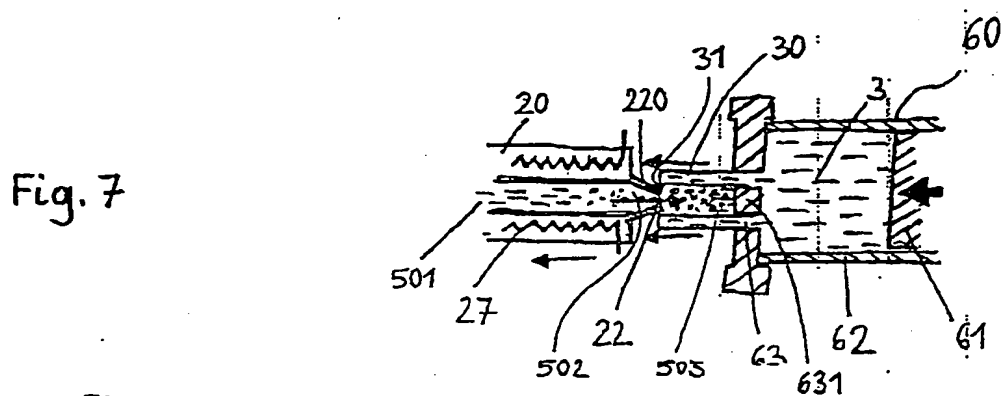


Fig. 7

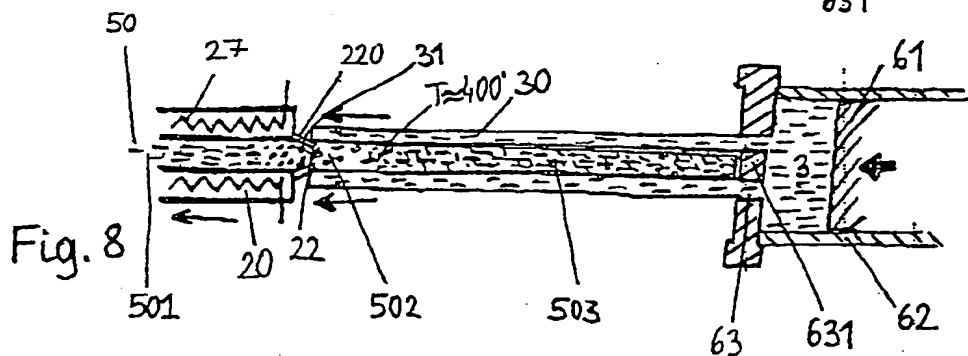


Fig. 8

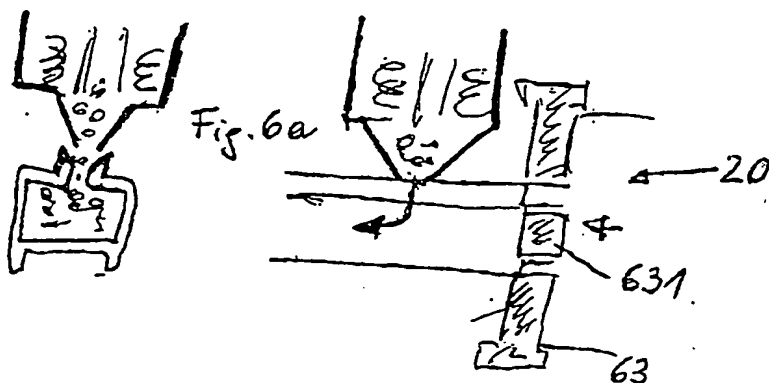


Fig. 6a

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.